

高強度鋼用の複半月充填ボルト接合に関する基礎的研究

その6 充填ボルト支圧接合梁継手の繰返し載荷実験

玉井 宏章*・桐山 尚大**・山下 祥平**・中島康太***

A New Fastener using Half-Moon Shaped Bolts for High-Strength Steel Member Part 6 Cyclic Loading Test on Beam Joint using Half-Moon-Shaped Bolt for High Strength members

by

Hiroyuki TAMAI*, Takahiro KIRIYAMA**, Shohei YAMASHITA**
and Kota NAKASHIMA***

We present the beam joint using half-moon-shaped bearing bolt as an effective fastener between high-strength steel members. Experimental studies were carried out to clarify the elastic stiffness of beam flange joint. This paper shows capabilities of presented bolts. Obtained result was summarized as follows. In cyclic loading, the half-moon-shaped bolt has sufficient flexural rigidity with the same that of as ordinary friction. Also, the half-moon-shaped bolts always penetrate the connected steel plates so as to fill up a hole. Hence, the present beam joint maintains constant stiffness under a large number of pulsating cyclic loadings.

Key words : Bearing Bolt, Built-up Member, H-SA700A, High-Strength Steel.

1. はじめに

建築構造で利用するための普及型高強度鋼が開発され、その利用技術に関する研究が多くの研究者によって行われている¹⁾。高強度鋼部材の接合では、超高力摩擦ボルト接合を行っても、かなり多くのボルト本数を必要とすることが既往の研究で明らかとなっている²⁾。提唱する乾式組立材¹⁾を普及させるためには、接合方法をより耐力が高くかつ簡便にすることが必要と考えられる。

著者らは、溶接を行わない場合の接合方法、特にボルト接合のせん断伝達に関して、この問題を解決する新たな接合形式として、複半月テーパ充填ボルト接合法を提案している²⁾。

この支圧接合法について、充填力を発揮させる皿ばね

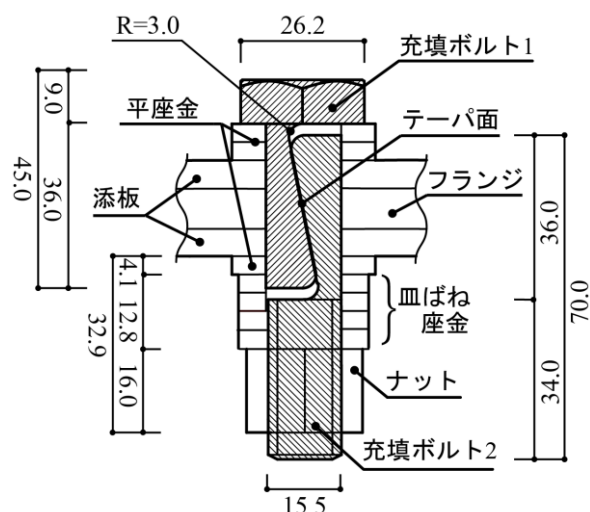


図1 複半月充填ボルト(試験体下フランジ接合部)

平成27年1月23日受理

* システム科学部門 (Division of System Science)

** 工学研究科 (Graduate School of Engineering)

*** 工学部工学科 (Department of Engineering)

ね座金について載荷実験を行い、初期導入張力の検討を行った。また、F10T ボルトを用いた充填ボルトを作成し、SN400 の梁に接合して多数回の繰返し載荷試験を行って、自己充填性の検証およびこれを用いた継手の接合部剛性の強度を検討したので報告する。

2. 充填ボルト接合の概要

複半月ボルトを用いた充填ボルト接合法と、そのボルトを図 1 に示す。この接合方法は、半月形断面のボルトが、ボルト孔を荷重方向にギャップをなくすように充填するので、複半月充填ボルトと呼んでいる。

4 枚の皿ばね座金はボルトの締め付け力によって軸方向に弾性変形で縮んでいる。繰返し荷重に対して、ボルトねじとナットには緩みは生じず、ずれが生じてボルト孔が拡張されても、座金の弾性変形が復元され、充填ボルト 2 が入り込むため、せん断方向ボルトの緩みは生じない。この自己充填機能を複半月充填ボルトは有している。複半月テーパ充填ボルト接合は、リベット接合と同等程度(0.2mm 以内)にギャップは解消されるため、従来の高力ボルト支圧接合の問題点を解決でき、かつ、ボルト鋼種を 14T として使用でき高強度性能をボルトせん断力として発揮できるので、板厚が厚く、高強度の鋼材に対して効率のよい接合が期待できる。テーパ部の付け根は応力集中が起き

ないように R がとってあり、テーパ角度は 4 枚(5mm)の座金厚に対して 1mm の勾配としている。

3. 載荷実験の概要

本節では、充填力を付与する皿ばね座金の復元力を載荷試験により検討するとともに、複半月充填ボルト接合接合した梁継手について片振り振幅繰返し実験を行って載荷の繰返しに伴う剛性の変化を調査する。

載荷実験の概要を以下に示す。

3. 1 皿ばね座金載荷実験

○試験体

図 2(a)に皿ばね座金を示す。皿ばね座金は、外径 34mm, 内径 19mm の一般ボルト用皿ばね座金 M18 の重荷重用(素材: S55C)を使用する。

試験体は、表 1 に示す直列ばね形式で設置し、皿ばね座金の枚数を変化させたものを使用する。

皿ばね座金 1 枚の試験体を DW1 試験体、皿ばね座金 2 枚を直列ばね形式で設置した DW2 試験体、皿ばね座金 4 枚を直列ばね形式で設置した DW4 試験体の 3 種類を用意した。

○載荷装置

図 3 に皿ばね座金の載荷装置を示す。

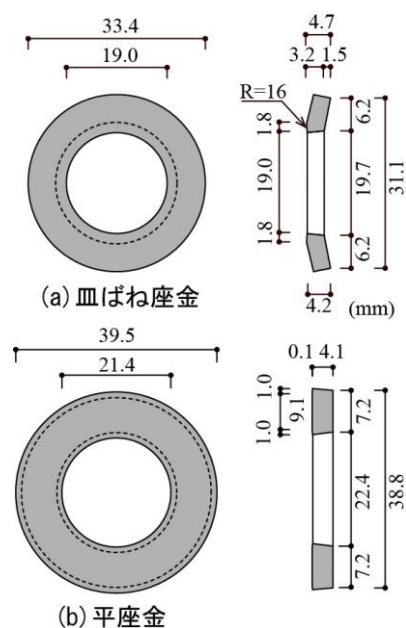


図 2 皿ばね座金試験体

表 1 試験体シリーズ

試験体名	形式
DW1	33.4 19.0 R=16 4.7
DW2	9.4
DW4	18.8

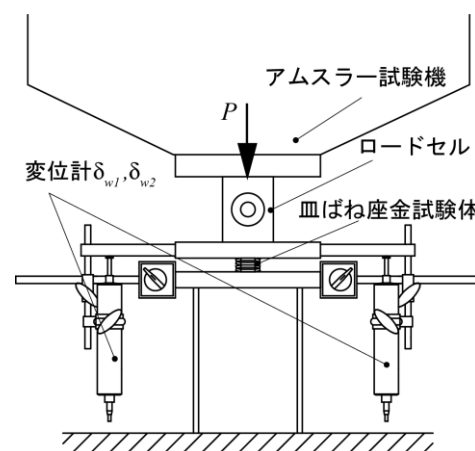


図 3 皿ばね座金圧縮試験

試験は 300kN 容量のアムスラー試験機を用いて載荷を行う。試験体を鋼板で固定し、300kN アムスラー試験機よりロードセルを介して上部鋼板より、載荷を行う。皿ばね座金のたわみ: δ_w は、治具に取り付けた左右の変位計: δ_{w1} , δ_{w2} より平均して求めた。

加力プログラムは、静的単調載荷とし、40kN まで載荷し除荷した。

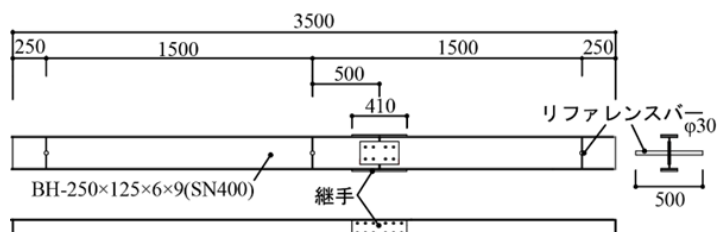


図 4 梁継手試験体

3. 2 梁継手の繰返し載荷実験

○試験体

図 4 に試験体を示す。試験体は、全長 3500mm 支点間が 3000mm の梁(BH-250-125×6×9, SN400)に、中央点より 500mm の位置に継手部を設けたものである。

試験体は、図 5 に示す継手様式を変化させたものを用意した。

上下フランジに添板 (PL6-410×125, SN400) 2 枚を介し、二面せん断状態で充填ボルト (F10T, M16) を上下各 12 本、計 24 本を用いて支圧接合した HM 試験体、HM 試験体と同様で、ボルト接合形式のみを摩擦接合 (S10T, M16) とした FB 試験体及び、支圧接合 (14T, M16) とした NB 試験体を用意した。尚、いずれの試験体もボルト孔径は 18mm とし、ウェブは添板 2 枚 (PL6-290×150, SN400) を介して高力ボルト (S10T, M16) 8 本で摩擦接合した。また、HB 試験体はボルトの拡張方向を 0 度: HB-00, 45 度: HB-45, 90 度: HB-90 と変化した試験体を用意した。

図 5(d)に示すように、充填ボルトヘッド側に平座金 2 枚を、ナット側に平座金 1 枚と皿ばね座金 4 枚(DW4)を介して設置し、導入張力においては、DW4 の試験結果(図 6)より、充填ボルトの最小断面部の降伏耐力の半分程度である 26.5kN を与えて設置を行った。

平座金は M20(素材: S45C)を使用し、図 2(b)に平座金の形状を示す。

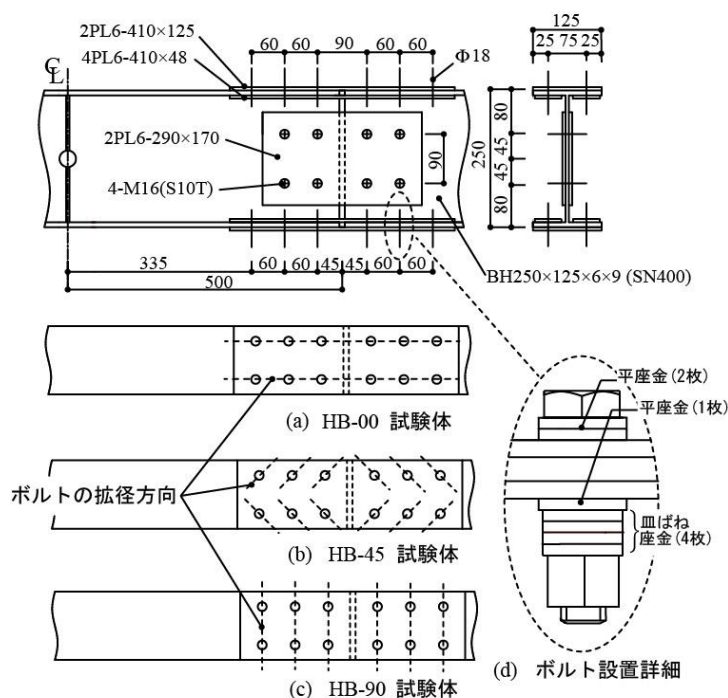


図 5 梁継手詳細

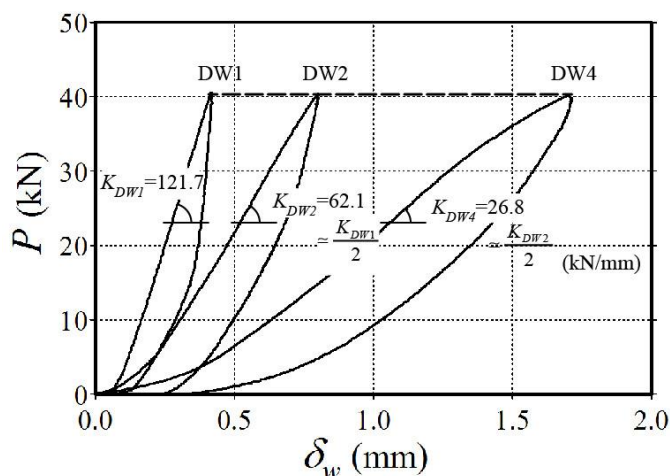


図 6 軸荷重-たわみ関係(皿ばね座金試験)

表 2 素材試験結果（梁継手試験）

	σ_y	σ_u	ε_u	ε_{st}	ε_i
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(%)	(%)	(%)
SN400(6mm)	330	444	26.1	2.7	15.4
SN400(9mm)	280	414	25.1	2.1	19.4
F10T	898	950	17.5	-	4.8

σ_y :降伏応力, σ_u :最大応力, ε_u :破断ひずみ, ε_{st} :加工硬化開始ひずみ, ε_i :一様伸び

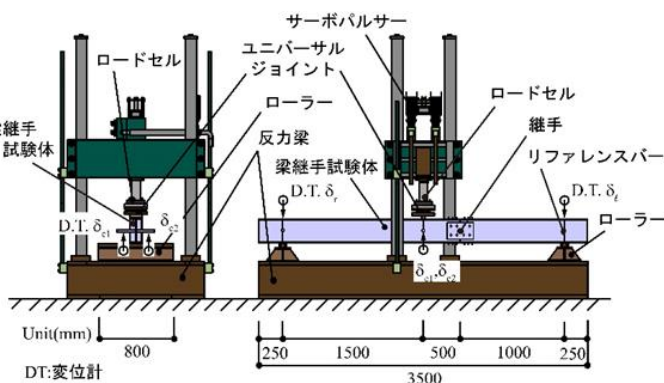


図 7 荷重装置（梁継手試験）

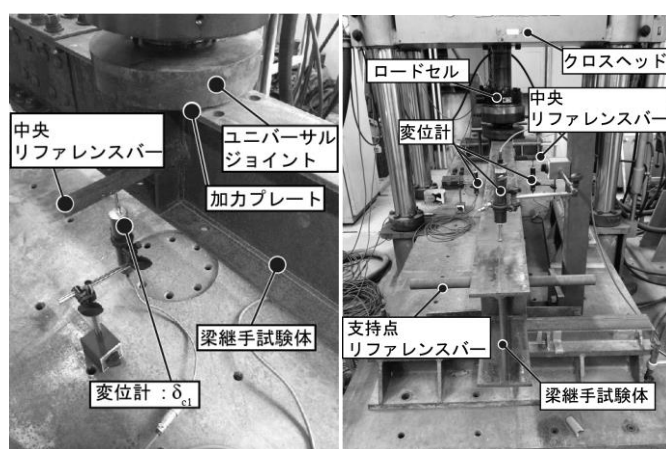


写真 1 荷重装置の概要

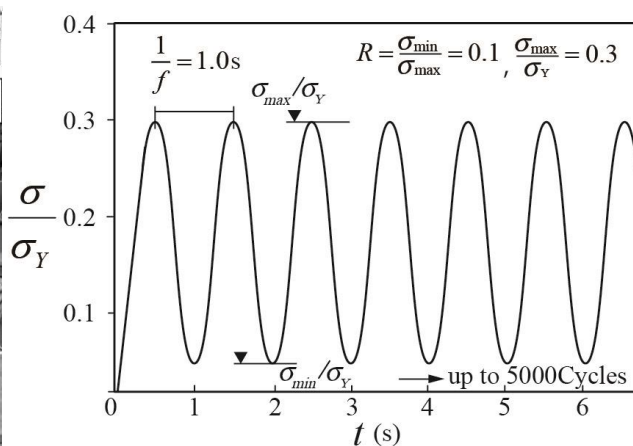


図 8 加力プログラム（梁継手試験）

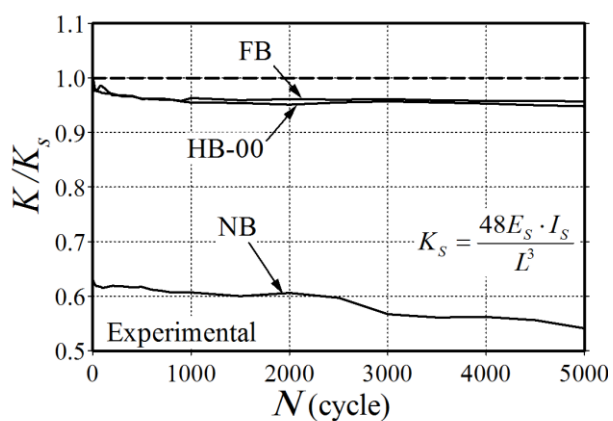


図 9 無次元化梁継手剛性-繰返し回数関係
(梁継手試験, 接合方法変化のシリーズ)

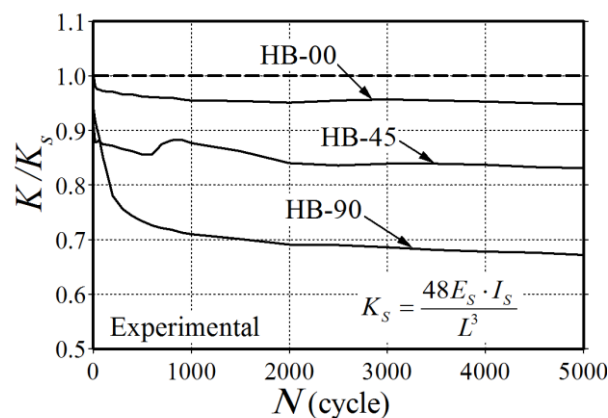


図 10 無次元化荷重-繰返し回数関係
(梁継手試験, ボルト拵径方向変化のシリーズ)

試験体のウェブ(6mm), フランジ(9mm) の 1 号試験片, F10T の試験片より求めた素材引張試験結果を表 2 に, 平座金の詳細を図 2(b)に示す。

○荷重装置と加力プログラム

荷重装置を図 7 に, 試験体設置状況を写真 1 に, 加力プログラムを図 8 にそれぞれ示す。

支点間 3000mm のローラー上に試験体を設置し、加力プレート(PL6-200×10, SN400) , ユニバーサルジョイント, ロードセルを介して, 上部クロスヘッドから, 試験体中央に圧縮荷重: P を作用させ片振り荷重振幅繰返し載荷を行った. 加力プログラムは荷重制御で, 継手位置の鋼梁のフランジ縁応力を応力振幅比: R ($=\sigma_{min} / \sigma_{max}$) を 0.1, 降伏応力に対する最大応力振幅の比: σ_{max} / σ_y を 0.3 とし, 振動数は 1Hz で 5000 回繰返し載荷した. なお, フランジ縁応力は, 継手部の曲げ剛性は鋼梁と同等とした計算値より求めている.

○計測計画

計測方法は図 7 に示すように, 荷重についてはクロスヘッド下部のロードセルから荷重: P を, 変位については中央たわみ: w は中央点の表裏の変位 δ_{c1}, δ_{c2} と支点変位 δ_t, δ_r を平均した値の差により求めた. 継手に剛性低下が生じず完全であるとする, 中央たわみ w と中央荷重 P には次式が成り立つ.

$$K_s = \frac{48E_s \cdot I_s}{L^3} \quad (1)$$

ここに, L : 支点間距離, $E_s \cdot I_s$: 梁の曲げ剛性.

4. 実験結果とその考察

座金の載荷試験結果を図 6 に, 梁継手の載荷試験結果を図 9, 10 に, それぞれ示す.

図 6 は, 皿ばね座金の軸方向への荷重 P とたわみ δ_w について示す. 図 9 は, 継手が完全な場合の梁の剛性 K_s に対する梁継手試験体の剛性と繰返し載荷回数 N との関係 (FB: 摩擦接合, HM: 充填支圧接合, NB: 支圧接合) について示す. 図 10 には HM 試験体についてボルトの拡張方向違いによる梁継手試験体の剛性 K_s と繰返し載荷回数 N との関係 (HB-00: 拡張方向 0 度, HB-45: 拡張方向 45 度, HB-90: 拡張方向 90 度) を示す.

これらの結果から以下のことがわかる.

- 1) 皿ばね座金の圧縮ばね剛性は, 皿ばね座金の枚数に逆比例し, ほぼ直列ばねとモデル化できるため, 所要剛性と所要ストロークを容易に設定できる.
- 2) 充填ボルト最小断面部の降伏耐力の半分程度の張力で摩擦接合と同程度の十分な剛性を発揮する.

- 3) 1Hz, 5000 回程度の繰返し載荷によっても, 充填ボルトは, スリップバックしない.
- 4) 普通ボルト支圧接合試験体(NB 試験体)は継手が完全な場合の剛性 K_s と比べ初期から 62%程度の低い剛性を示し載荷の繰返しに伴って剛性は漸減する.
- 5) 摩擦接合試験体 (FB 試験体) , 充填ボルト支圧接合試験体(HM 試験体)ともに初期の 500 サイクルで, 初期剛性の 95%まで剛性が低下する. その後, HM 試験体は剛性が微増減を繰返し FB 試験体とほぼ同じ一定の剛性を保持する.
- 6) 支圧接合した NB 試験体と HM 試験体の剛性差から, 本接合法によれば, 充填ボルトの自己充填機能が良好に作動し, 継手の剛性を維持・確保しうる.
- 7) 梁の長手方向に対する充填ボルトの拡張方向を 45° と大きく変化させても(HB-45), 正しく設置した場合(HB-00)の継手剛性と比べ剛性の低下は 10%ほどである. 従って, 施工の際, ボルトの拡張方向の多少のずれは気にする必要はなく, 高い施工性が期待できる.

5. まとめ

高強度鋼用の効率の良い 1 つの接合法として, 複半月充填ボルト支圧接合法を提案し, 皿ばね座金の剛性を実験的にもとめるとともに, 本接合法を用いた梁継手接合試験体を作成して, 多数回の繰返し載荷試験を行って, 本接合法の可能性を検討した. 得られた知見は, 以下の様に要約できる.

- 1) 皿ばね座金の圧縮ばね剛性は, 皿ばね座金の枚数に逆比例し, ほぼ直列ばねとモデル化できるため, 所要剛性と所要ストロークを容易に設定できる.
- 2) 本接合法では多数回の中規模外乱に対して充填ボルトが貫入して, 梁継手の剛性が維持・確保しうる自己充填機能を有している.
- 3) 梁の長手方向に対する充填ボルトの拡張方向を大きく変化させても, 正しく設置した場合と比べ, 剛性の低下は少なく, 多少のずれは気にする必要はなく, 高い施工性が期待できる.

参考文献

- 1) 佐藤篤司，吹田啓一郎，井上一郎，建築構造用高強度鋼材 H-SA700A を用いた柱梁材を弾性に留める乾式接合法の開発，日本建築学会構造系論文集，第 74 巻，第 646 号，pp.2355-2363，2009.12.
- 2) 玉井宏章，高松隆夫，小川勝彦，高強度鋼用の複半月テーパ充填ボルト接合法に関する基礎的研究，鋼構造年次論文報告集，第 19 巻，pp.201-208，2011.11.